

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta Strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh otočného stolu pro vertikální frézku

Turntable Design for Vertical Milling Machine

Student:

Petr Buček

Vedoucí bakalářské práce:

Dr. Ing. Jaroslav Melecký

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Buček**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 21 Konstrukce výrobních strojů a zařízení
Téma: **Návrh otočného stolu pro vertikální frézku**
Turntable Design for Vertical Milling Machine
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci řešení bakalářské práce vypracujte konstrukční návrh otočného stolu pro vertikální frézku.

Bakalářská práce bude obsahovat:

- analýzu a řešení dané problematiky
- vhodný návrh základové desky k frézovacímu stolu s uvedením způsobu uchycení
- uchycení otočné části k základové desce
- volba převodového mechanismu a uložení
- návrh aretačního mechanismu
- úvahu nad použitím krokového motorku
- zpracování 3D modelu zařízení, který bude podložen příslušnými technickými výpočty
- zpracování výkresové dokumentace v patřičném rozsahu

Při řešení bakalářské práce vezměte v úvahu následující technické parametry a požadavky:

- průměr otočné desky v rozmezí 100 - 200 mm
- rozměry ohraničujícího kvádra obrobku do 130x130x130 mm (lxšxv)
- materiál obrobku konstrukční ocel
- možnost použití navrhovaného zařízení ve dvou kolmých rovinách

Bližší specifikace nutných technických údajů a požadavků bude upřesněna v průběhu řešení bakalářské práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

JEŘÁBEK, K. *Metodika navrhování strojů*. 1.vyd. Praha, Ediční středisko ČVUT Praha, 1999. 119 s.
ČÁSENSKÝ, M. *Metodika konstruování*. 1. vyd. Praha, Ediční středisko ČVUT Praha, 1990. 122 s.
LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky* (4. přepracované vydání). Úvaly, 2008, ALBRA – pedagogické nakladatelství. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
MYNÁŘ, V. A KOL. *Části strojů*. VŠB-TU Ostrava, 1978. 398 s.
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha, Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace*. Obsah, forma a struktura. Praha, Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Dr. Ing. Jaroslav Melecký**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové (bakalářské) práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Petr Buček

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Sokolovská 1248/52

708 00, Ostrava

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BUČEK, P. Návrh otočného stolu pro vertikální frézku: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2018, 44 stran. Vedoucí práce: Jaroslav Melecký

Bakalářská práce se zabývá návrhem otočného polohovacího stolu pro použití s vertikální frézku. Pro ilustraci stručně představuje několik výrobku, které jsou v současné době na trhu, a představuje funkce jednotlivých komponent celku. Dále je popsán způsob získání velikosti zatěžovacích sil vznikajících při třískovém obrábění. Na základě definovaných zatěžovacích podmínek jsou navrženy jednotlivé části otočného stolu. V kapitolách návrhu součásti stolu jsou popsány jejich prvky a požadavky na ně kladené. U některých částí je uvedeno více variant řešení s odůvodněním vybrané varianty dle uvedených hodnotících kritérií. V rámci práce byla zpracována úvaha nad použitím krokového motoru pro pohon otočného stolu, včetně návrhu konkrétního řešení.

Klíčová slova: frézování, otočný stůl, vertikální frézka, krokový motor, šnekové soukolí

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BUCEK, P. Turntable Design for Vertical Milling Machine: Bachelor Thesis. Ostrava: VSB – Technical university of Ostrava, Department of Production Machines and Design, 2018, 44 pages. Thesis head: Jaroslav Melecky

Bachelor's thesis is based upon a design of a rotary table usable in cooperation with vertical milling machine. For illustration it briefly introduces a few products which are currently on sale and describes the function of individual components. Further in it describes a method of quantifying load forces created while machining. Design of individual components is based on gathered loading conditions. Chapters about designing the components of the table are describing their features and requirements which are put on them. With some parts there are multiple design variants with a reason why particular option was chosen. Thesis involves a consideration about the use of a stepper motor as means of driving of the rotary table including a specific solution.

Key words: milling, rotary table, turntable, Vertical milling machine, stepper motor, worm drive

Obsah

Obsah	7
Seznam značek a použitých symbolů	9
Úvod	11
1.1. Funkce a použití otočných stolů	11
1. Rešerše.....	13
1.1. Ukázka v současnosti nabízených otočných stolů	13
1.1.1. Otočný stůl INDEXA SEIKI SOPP	13
1.1.2. Otočný stůl VERTEX HV-8.....	14
1.1.3. Otočný stůl VERTEX VU-8.....	15
2. Funkce hlavních komponentů.....	16
2.1. Základna	16
2.2. Otočná deska.....	17
2.3. Převodový mechanismus	17
3. Definice vstupních parametrů.....	20
3.1. Stanovení síly při frézování	20
3.1.1. Přímé měření	20
3.1.2. Nepřímé měření	22
4. Návrh komponent.....	24
4.1. Návrh základny stolu (rámu)	24
4.2. Návrh převodového mechanismu.....	25
4.2.1. Kontrola samosvornosti.....	27
4.3. Návrh otočné desky	28
4.4. Návrh aretačního mechanismu.....	30
4.5. Návrh uložení otočné desky a šnekové hřídele	33

5. Použití krokového motoru pro pohon stolu	38
6. Závěr.....	42
7. Literatura:.....	43
8. Seznam příloh	44

Seznam značek a použitých symbolů

Označení veličiny	Název veličiny	Jednotka
$\cos \varphi$	Účíník	[-]
d_{a1}	Průměr šroubu aretace 1. varianty	[mm]
d_{a2}	Průměr šroubu aretace 2. varianty	[mm]
d_b	Průměr aretačního bubnu	[mm]
D_d	Průměr otočné desky	[mm]
D_f	Průměr frézy	[mm]
d_{stt}	Střední třecí průměr aretace 1. varianty	[m]
F	Síla	[N]
F_{as1}	Předpětí ve šroubu aretace 1. varianty	[N]
F_{as2}	Předpětí ve šroubu aretace 2. varianty	[N]
F_c	Tangenciální složka řezné síly	[N]
f_{co}	Součinitel tření ocel – ocel	[-]
F_{un}	Síla upínky normálná	[N]
$f_{zš}$	Součinitel tření v závitu šneku	[-]
I	Elektrický proud	[A]
K_{a1}	Součinitel utahovacího momentu pro aretační šroub 1. varianty	[-]
K_{a2}	Součinitel utahovacího momentu pro aretační šroub 2. varianty	[-]
k_s	Součinitel bezpečnosti proti skluzu svěrného spoje	[-]
l_{min}	Minimální délka proříznutého náboje	[mm]
M_c	Moment vyvozený řeznou silou	[Nm]

M_{ua1}	Utahovací moment šroubu aretace 1. varianty	[Nm]
M_{ua2}	Utahovací moment šroubu aretace 2. varianty	[Nm]
n_v	Otáčky vřetene frézky	[min ⁻¹]
P	Výkon	[W]
P_0	Výkon při chodu naprázdno	[W]
P_c	Celkový výkon	[W]
$P_{už}$	Užitečný výkon	[W]
s_o	Tloušťka aretační objímky	[mm]
U	Elektrické napětí	[V]
v_c	Řezná rychlost	[m*min ⁻¹]
α_s	Úhel profilu šneku	[°]
π	Ludolfovo číslo	[-]
φ'_s	Redukovaný úhel tření šneku	[°]
ψ_s	Úhel stoupání šneku	[°]

Úvod

Úvodní část představuje funkci a použití otočných stolů, jehož návrh je předmětem této bakalářské práce.

V rámci návrhu je počítáno se zadanými parametry charakterizující způsob použití navrhovaného otočného stolu. Prvním z nich je průměr pracovní desky 100 – 200 mm. Tento parametr jednak určuje využitelný prostor pro upnutí obrobku a dále jsou na něm závislé celkové rozměry hotového zařízení. Volbu průměru pracovní desky ještě ovlivňuje požadavek na upnutí obrobku charakterizovaného ohraničujícím kvádrem o rozměrech 130x130x130 mm. Součástí práce bude také návrh vhodného způsobu uchycení obrobku k pracovní desce. Předpokládaný materiál obrobku je konstrukční ocel. Na základě materiálu obrobku bude stanovena síla působící při obrábění. S touto silou bude počítáno při dimenzování veškerých komponent. Podmínkou pro návrh je použití otočného stolu ve dvou kolmých rovinách tj. možnost ustavení osy otáčení ve svislém a vodorovném směru.

Součástí úvodní kapitoly je také ukázka několika vybraných otočných stolů s podobnými parametry, které jsou v době vypracování BP na trhu. Současná nabídka je tvořena konstrukčními řešeními ověřenými dobou a změny oproti výrobkům staršího data výroby jsou zejména orientovány na snížení nákladů na výrobu, třeba i za cenu znatelného poklesu kvality zpracování a životnosti. Důvodem pro tento vývoj je pokrok v konstrukci výrobních strojů. Výrobní operace, pro které bylo dříve potřeba u konvenčních obráběcích strojů použít otočných stolů a dalších dělicích zařízení, lze dnes provádět na CNC stojích bez nutnosti použití dalšího příslušenství. Z tohoto důvodu se zájem o manuální dělicí zařízení přesunul spíše na malé a hobby dílny. Také proto je součástí práce úvaha o použití krokového motoru jako pohonu stolu a jeho možné využití jako polohovacího zařízení či jako další osu u jednodušších NC a CNC strojů.

Funkce a použití otočných stolů

Otočné stoly slouží jako příslušenství zejména konvenčních obráběcích strojů nejčastěji frézek a vrtaček. Používají se v případě potřeby dělení úhlových rozměrů na roztečných kružnicích nebo v případě je-li potřeba aby obrobek vykonával rotační pohyb při frézování např.: vrtání otvoru na roztečné kružnici, frézování zaoblení, frézování kruhových drážek, dělení při kusové výrobě ozubených kol modulovou frézou, frézování válcových dutin, frézování n-hranů a drážkování.

Při jejich použití je obrobek připevněn k pracovní desce a v případě potřeby je otáčen nejčastěji za pomoci ručního kola o potřebný úhel. Výrobci obráběcích strojů nabízeli dříve také modely frézek, které byly vybaveny výstupem pro připojení strojního pohonu otočného stolu pomocí hřídele s křížovými klouby, například otočný stůl IMF 320 výrobce TOS Kuřim.



Obr. 1 – Otočný stůl TOS IMF 320 se strojím pohonem [1]

1. Řešení

1.1. Ukázka v současnosti nabízených otočných stolů

Jako příklad aktuálně nabízených otočných stolů bylo vybráno několik variant, které se lehce liší svou konstrukcí. Všechny varianty jsou vybrány tak aby svou velikostí odpovídaly parametrům stanoveným v zadání práce. Tj. průměr pracovní desky v rozsahu do 200 mm. Hlavní rozdíl je v základnách stolů, které umožňují různé ustavení otočné desky.

1.1.1. Otočný stůl INDEXA SEIKI SOPP



Obr. 2 Otočný stůl INDEXA SEIKI SOPP 200 mm [2]

Průměrem pracovní desky je 200mm. Tento stůl je bez použití dalšího příslušenství konstruován pro práci pouze ve vodorovné poloze. Přichycení otočného stolu k frézovacímu stolu je řešeno pomocí dvojice otvorů pro šrouby. V dosedací ploše jsou také osazení se závity umožňující montáž středících kamenů.

Otočná pracovní deska je pro upnutí obrobku vybavena T-drážkami, v případě tohoto stolu výrobce použil čtyři drážky rozmístěné po 90°. Ve středu pracovní desky je průchozí středící otvor s Morseovým kuželem MT3. Otočnou desku je možno zaletovat. Aretace pracovní desky je tady provedena přitažením otočné desky k základně pomocí dvou upínek, které dosedají do osazení na obvodu desky. Upínky jsou přitahovány šrouby M8, které jsou zakončeny rukojetmi pro snadnou manipulaci. Po obvodu otočné desky je stupnice s úhlovým dělením pro jednoduchou orientaci a kontrolu natočení. Stupnici lze odečítat pomocí ukazatele připevněného na základně stolu, který je nastavitelný v rozsahu několika stupňů připevněných šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem.

Převod krouticího momentu je zajištěn šnekovým převodem. Šnek je uložen v základě stolu v excentrickém pouzdře, které v případě potřeby umožňuje vyjmutí šneku ze záběru se šnekovým kolem. Toho lze využít v případě, je-li potřeba pracovní desku přestavit o větší úhel do určité polohy tak aby se obsluha nezdržovala otáčením desky za pomoci ručního kola. Excentrické pouzdro se v záběrové poloze zajišťuje šroubem. Převodový poměr je 1:90. Šnek je jednochodý a šnekové kolo má 90 zubů. Z toho vyplývá, že jedna otáčka ručního kola natočí pracovní desku o 4° . Stupnice ručního kola je rozdělena na 240 dílků, z toho plyne, že pootočení o jeden dílek natočí pracovní desku o jednu minutu stupně. Pomocí nonia u stupnice je možné dosáhnout rozlišení až 20 vteřin.

1.1.2. Otočný stůl VERTEX HV-8

Průměr pracovní desky je 200 mm. Hlavním rozdílem proti předchozímu stolu je možnost ustavení ve dvou navzájem kolmých rovinách. Přichycení je řešeno šroubem a protější strana se připevňuje patní či jinou upínkou, která se zapírá o obrobené vybrání. Pro uchycení k frézovacímu stolu se počítá s využitím T-drážek. V případě potřeby je stůl připraven pro montáž středících kamenů.



Obr. 3 Otočný stůl VERTEX HV-8 [3]

Otočná pracovní deska je pro připevnění obrobku vybavena T-drážkami tři kratší a tři delší sloužící pro upínání obrobků různých rozměrů. Uprostřed pracovní desky je průchozí otvor s Morseovým kuželem MT3. Aretace otočné desky je opět řešena přitažením k základně stolu pomocí dvou šroubů. Na obvodu otočné desky je stupnice s dílkou s rozlišením 1° . Pohon otočné desky je řešen šnekovým soukolím s převodem 1:90 a šnek lze vyřadit ze záběru se šnekovým kolem.

1.1.3. Otočný stůl VERTEX VU-8



Obr. 4 Otočný stůl VERTEX VU 8 [4]

Jedná se v podstatě o totožný stůl jako HV-8 s rozdílnou základnou, která umožňuje naklopení pracovní desky. Naklopení lze využít u obrábění tvarově složitějších částí a vrtání pod sklonem. Jeho nevýhodou je objemnost, která značně zmenšuje pracovní obálku stroje a tím limituje velikost obráběného dílu.

2. Funkce hlavních komponentů

V této části jsou představeny jednotlivé komponenty sestavy, jejich prvky a vlastnosti.

2.1. Základna

Základna funguje jako rám celého stolu. Z důvodu tvarové složitosti je nejčastěji vyrobena z litiny. Základna zajišťuje spolehlivé připevnění k podkladu (nejčastěji ke stolu frézky). Nejběžněji se pro připevnění používá šroubů s T-maticí (dle ČSN 02 1529) nebo T-šroubů (dle ČSN 02 1124) s maticí, které jsou vloženy v T-drážkách frézovacího stolu. Vedle vybrání pro šrouby se často vyskytují osazení pro montáž vodících kamenů upravené normou ČSN 24 3595. Tyto kameny zapadající do drážek ve stole frézky a vymezují polohu otočného stolu. Před dotažením upínacích šroubů umožňují pohyb pouze ve směru T-drážek ve stole frézky a zamezují rotaci. Využití vodících kamenů je vhodné zejména při demontáži a zpětné montáži pro zajištění opakovatelnosti usazení příslušenství používaného na frézkách např. otočných stolů, strojních svěráků a dalšího upínacího nářadí.

V základně jsou také uloženy pohyblivé součásti tj. otočné pracovní desky (ke které je pevně přichyceno šnekové kolo) a hřídele se šnekem. Použití litiny jako materiálu pro výrobu základny se využívá u uložení otočné desky ručně ovládaných otočných stolů s nízkou frekvencí otáčení. Kde otvor zhotovený přímo v litinovém rámu slouží jako kluzné radiální ložisko. U průmyslových otočných stolů se strojním pohonem a vyšší frekvencí otáčení se používá valivých ložisek s nízkou radiální vůlí. V axiálním směru je otočná deska u současně prodáváných stolů uložena opět kluzně, axiální zajištění je řešeno přírubou, která je ze spodní strany šrouby přitažena k otočné desce a axiální vůle je vymezena stavěcími šrouby v přírubě viz obrázek.



Obr. 5 - Způsob zajištění otočné desky v axiálním směru [5]

2.2. Otočná deska

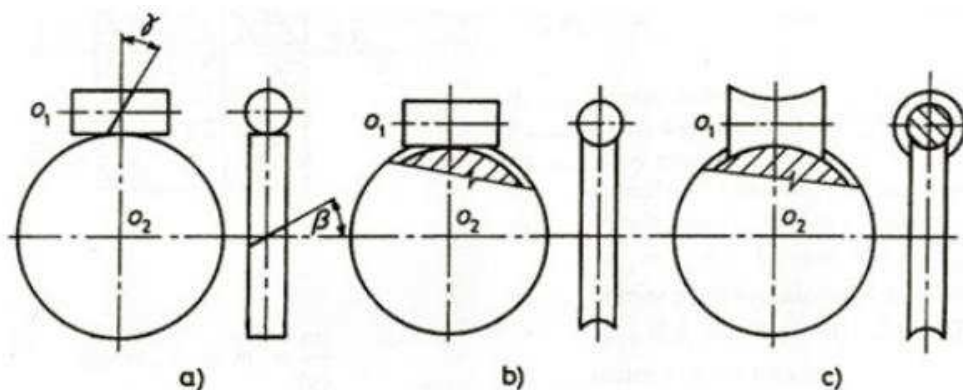
Otočná pracovní deska je pohyblivá část otočného stolu. Pro upnutí obrobku se nejvíce používá T-drážek z důvodu vysoké univerzálnosti a rozmanitosti příslušenství. Na povrchu otočné desky bývá několik kruhových drážek sloužících k hrubému ustavení upínaného obrobku a také k zachycení jemných nečistot, které mohou být mezi obrobkem a otočnou deskou a způsobovat tak nepřesnosti v upnutí. Další možností upínání obrobku je umístění závitů přímo v těle otočné desky ve vhodném rozmístění. Rozmístění a velikost závitových děr je závislé na uvažované aplikaci. Oproti T-drážkám je možné jich použít daleko více a tím i více upínacích prvků, které rovnoměrněji rozloží upínací sílu. V nevyužitých otvorech jsou zašroubovány stavěcí šrouby tak aby nedocházelo k jejich zanesení třískami. Důležitým prvkem u pracovní desky je průchozí středící otvor, který může být válcového nebo kuželového tvaru nejčastěji se využívá Morseova kuželu. Otvor může samotný sloužit jako soustředná referenční plocha. Popřípadě je možno použít středícího trnu s kuželovou stopkou pro ustavení otočné desky soustředně s osou vřetena pomocí úchylkoměru. Kuželového otvoru se dále používá pro usazení dalšího upevňovacího příslušenství např.: kleštin, držáků kleštin či sklíčidel. Při dělicích operacích, kdy není potřeba při obrábění obrobkem pohybovat, je vhodné, aby bylo možné otočnou desku zaaretovat proti pohybu například při vrtání otvoru na roztečné kružnici. Lze tak zamezit nechtěné manipulaci a natočení pracovní desky, které by mohlo vézt ke znehodnocení obrobku a také se zamezí možnému pohybu v případě, je-li ve šnekovém převodu vůle. Aretaci pracovní desky je možné provést několika způsoby. Jako nejjednodušší řešení se používá přitažení otočné desky k základně pomocí upínek dosedajících do osazení na obvodu desky.

2.3. Převodový mechanismus

Převod je zajištěn ozubenými koly to zajišťuje konstantní převodový poměr a je možné dosáhnout vysokých převodových poměrů což je jeden z nároků na dostatečné rozlišení dělení. Pro vhodné umístění ovládacích prvku je vhodné použít převod s různoběžnými či mimoběžnými osami. U různoběžného a mimoběžného postavení os lze využít soukolí kuželových či šnekových. Kuželové soukolí, ale není vhodné pro tuto aplikaci z důvodu velkých zástavbových rozměrů pro soukolí s velkým převodovým poměrem a také není samosvorné. Druhou možností je využití soukolí šnekového, které je za tímto účelem běžně používáno. Tento typ soukolí má výhodu v možnosti vysokých převodových poměrů až 1:300 a také je možné u těchto převodů dosáhnout samosvornosti. Vysoké převodové poměry lze dosáhnout díky možnému nízkého počtu zubů šneku, minimálně

jeden. V tom případě je šnek tvořen jednoduchým závitem s předepsaným profilem. Proto je také nazýváme šroubovým soukolím. V závislosti na směru stoupání rozlišujeme, šnek levý a pravý.

Šnekové soukolí lze rozdělit dle tvaru šneku a šnekového kola do tří používaných variant. První variantou je válcové soukolí, které je tvořeno válcovým šnekem s válcovým kolem. Jedná se v podstatě, o šnek s ozubeným kolem se šikmými zuby. Vzhledem ke tvaru ozubení dochází k bodovému styku. Jsou jednoduché a tím i levné na výrobu. Využívá se jich zejména pro přenos malých výkonů a ruční pohony. Druhou variantou je soukolí smíšené tvořené válcovým šnekem a globoidním kolem. Jedná se o nejpoužívanější kombinaci v praxi. Z důvodu větší kontaktní plochy je možné přenášet větší zatížení, používá se pro silové převody. Třetí možností je globoidní soukolí tvořené globoidním šnekem a globoidním šnekovým kolem. Používají se u velmi vysokých výkonů až 200 kW. Nevýhodou jsou vysoké náklady na výrobu, zejména tvarově složitého šneku, jehož výroba je komplikovaná. Teoreticky je možná i kombinace válcového kola a globoidního šneku tato varianta se ale v praxi nepoužívá.



Obr. 6 Varianty šnekových soukolí

a) Válcové soukolí

b) Smíšené soukolí

c) Globoidní soukolí

Dále rozlišujeme pět obecných typů šneků popsanych v normě ČSN 01 4750 dle geometrie. Typ A má rovnoboký osový profil a čelní profil je tvořen Archimédovou spirálou. Typ C, jehož osový profil je konkávní vytvořený konvexním profilem kotoučové frézy nebo brusného kotouče. Typ I s evolventní šroubovou plochou vytvořenou tvořící přímkou v tečné rovině základního válce, čelní profil je tvořen evolventou. Typ N má přímkový profil v normální rovině k šroubovici mezery závitu. A typ K tvaru helikonu vytvořeného pomocí dvoukuželového brousícího kotouče nebo frézovacího nástroje. Základní profil je vždy stejný s profilem šneku v osovém řezu, kde

je také normalizován modul. Úhel profilu je u typu N a I normalizován v normálním řezu a u typu A v osovému řezu. U typu K je normalizován úhel tvořící plochy. Úhel profilu je ve všech případech 20° .

3. Definice vstupních parametrů

3.1. Stanovení síly při frézování

Na velikost síly vznikající při třískovém obrábění má vliv:

- Obráběný materiál (jeho řezný odpor závisející na pevnosti materiálu)
- Materiál a geometrie nástroje
- Řezné podmínky (řezná rychlost a úběr tj. hloubka a tloušťka třísky)
- Výkon stroje

Velikost síly lze stanovit měřením přímým či nepřímým.

3.1.1. Přímé měření

Přímé měření je založeno na měření deformací vyvozených při obrábění. Deformace měříme pomocí dynamometrů. Vycházíme z předpokladu silové rovnováhy, tj. síly působící na nástroj jsou stejně velké jako síly působící na obrobek v opačném směru. Podle potřeby měření složek síly rozlišujeme dynamometry na jednosložkové, dvousložkové, tříložkové a pro měření krouticích momentů. Pro měření sil působících při obrábění, můžeme využít dynamometrů přímo konstruovaných za tímto účelem například KISTLER 9265B určen pro měření sil při soustružení nebo KISTLER 9255B pro frézování.



Obr. 7 KISTLER 9265B [6]

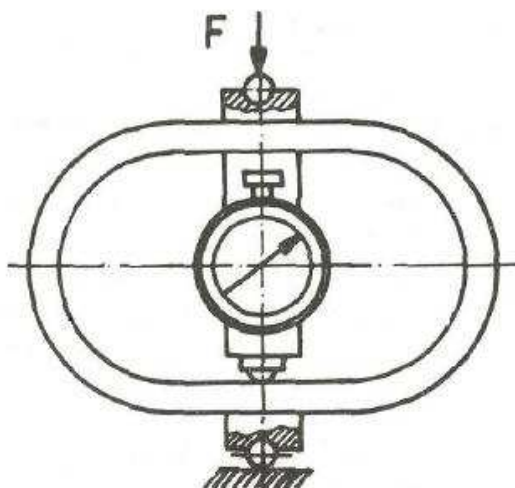


Obr. 8 KISTLER 9255B [7]

Dynamometry rozdělujeme podle principu fungování na mechanické, elektrické, hydraulické, pneumatické apod.

Mechanické dynamometry

Princip je patrný z nákresu mechanického prstencového dynamometru. Prstenec funguje jako pružina, která je zatěžována silou F . Síla způsobuje deformaci, která je převáděna buď přímo, nebo převodem na měřicí člen což je v tomto případě číselníkový úchylkoměr. Velikosti síly je odvozována z velikosti výchylky. Nejčastěji se používají pro cejchování jiných druhů dynamometrů. Výhodou mechanických dynamometrů je jejich jednoduchost a přesnost. K nevýhodám patří závislost měřených údajů na teplotě, obtížná změna měřicího rozsahu, únava materiálu pružného členu a velká setrvačnost, která znemožňuje dynamická měření.



Obr. 9 Mechanický dynamometr prstencový [8]

Elektrické dynamometry

Jedná se o nejpoužívanější dynamometry v praxi, také nazývané tenzometry. Podle principu je můžeme dělit na pasivní a aktivní. Pasivní tenzometry mění při namáhání některý svůj el. parametr, tj. odpor, kapacitu či indukčnost v závislosti na principu fungování. Nejčastěji používané jsou tenzometry odporové, u kterých působením vnějších sil dochází k deformaci vodiče (změně průřezu a délky) a tím změně celkového odporu. Odporové tenzometry můžeme dále dělit na kovové, pro jejichž výrobu se používá kovů (konstantan, chrom, nikl, platina a iridium) nebo polovodičové, u kterých se používá křemíkových krystalů. Dále máme tenzometry aktivní. Mezi ně patří snímače piezoelektrické, kterých využívají piezoelektrického jevu tj. schopnosti středově nesouměrného krystalu generovat el. náboj při jeho deformaci. Jako materiál se využívá například oxid křemičitý. Piezoelektrické snímače se používají pro měření časově proměnných sil. Mezi výhody elektrických dynamometrů patří malá velikost měřicích elementů, možnost zaznamenávání signálů různých průběhů a frekvencí, jejich snadný přenos, úprava a možnost zpracování.

3.1.2. Nepřímé měření

Pro nepřímé měření sil při obrábění se vychází z výkonu elektromotoru obráběcího stroje. Ze vztahu pro výpočet užitečného výkonu při obrábění lze vyjádřit tangenciální (řeznou) složku síly obrábění F_c

$$P_{už} = F_c * v_c \quad (1)$$

Užitečný výkon můžeme vypočítat jako rozdíl výkonu naměřeného při obrábění a výkonu naměřeného při chodu naprázdno.

$$P_{už} = P_c - P_0 \quad (2)$$

Výkon obráběcího stroje lze změřit přímou metodou tj. pomocí wattmetru nebo nepřímou metodou kdy měříme proud protékající fází. Pokud vezmeme v úvahu, že většina obráběcích strojů je poháněna třífázovým asynchronním motorem tak výkon následně dopočteme pomocí vzorce pro výpočet výkonu třífázové soustavy.

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi \quad (3)$$

Do vzorce dosazujeme sdružené hodnoty napětí a proudu. Dalším parametrem ve vztahu je účinník $\cos \varphi$, který je závislý na konstrukci a velikosti elektromotoru a může se pohybovat v rozsahu od 0,6 pro více pólový motor malého výkonu až přes 0,9 u motorů s vysokým výkonem. Účinník při jmenovitém výkonu je jeden z údajů, který výrobce uvádí na typovém štítku motoru. Účinník motoru se ale mění v závislosti na jeho zatížení a při chodu naprázdno může být výrazně nižší.

V rámci přípravy byla tato metoda vyzkoušena na malé nástrojové frézce AVIA FNC25 ve fakultní laboratoři. Tato frézka je výrobcem vybavena elektromotorem o výkonu 2,2 kW. Z důvodu nepřístupnosti však nebylo možné získat údaje uvedené na štítku motoru. Také z důvodu malé velikosti tohoto stroje bylo rozhodnuto o nevyužití shromážděných parametrů pro dimenzování navrhovaného stolu.

Horní hranice použitelnosti navrhovaného stolu je zamýšlena u středně těžkých univerzálních frézek, které bývají nejčastěji vybaveny elektromotory pro pohon včetně o výkonu do pěti kilowatů. Pro výpočet budeme tedy uvažovat výkon stroje 5kW. Vzhledem k faktu že podobný stroj nebyl k dispozici pro provedení měření a také ve snaze vypustit co nejvíce proměnných ovlivňující velikost řezných sil, (např. kvalita ostří nástroje) bude

jako užitečný výkon brán výkon celkový. Tímto rozhodnutím teoreticky simulujeme stav, při kterém by došlo k zanoření nástroje do obrobku a přenosu síly vyvolané celkovým výkonem elektromotoru se zanedbáním ztrát v ložiscích, převodech předlohy ad. Při počítání s takovýmto zatížením bychom měli být na straně bezpečnosti. Pro stanovení konkrétní síly potřebujeme ještě získat řeznou rychlost. Tu určíme na základě několika předpokladů. Prvním z nich je použití nástroje vyrobeného z rychlořezné oceli. Tak volíme z důvodu použitelného rozsahu pracovních otáček konvenční frézky a s tím souvisejících obráběcích normativů, které uvádí maximální doporučenou řeznou rychlost pro nástroj z rychlořezné oceli do 40 m/min. Tato rychlost je dále snížena s ohledem na zmíněné použitelné otáčky frézky, pro výpočet uvažujeme s frekvencí otáčení 400ot/min což je přibližně střed rozsahu otáček u zamýšlených strojů. Další volbou je volba průměru nástroje. Pro výpočet uvažujeme průměr frézy 20 mm, jako kompromis mezi velkým průměrem frézy s vysokou řeznou (obvodovou) rychlostí a tím menší řeznou silou a frézou malého průměru s nízkou řeznou rychlostí a vyšší řeznou silou s náchylností na ulomení při přetížení nástroje. Z otáček vřetena stroje a průměru nástroje můžeme vypočítat reálnou řeznou rychlost.

$$v_c = \frac{D_f * \pi * v_n}{1000} = \frac{20 * \pi * 400}{1000} = 25,13 \text{ m/min} \quad (4)$$

Upravením vzorce pro užitečný výkon vypočteme tangenciální sílu.

$$F_c = \frac{P_{už}}{v_c} = \frac{5000}{25,13} = 199 \text{ N} \cong 200 \text{ N} \quad (5)$$

Pro zohlednění dynamického průběhu řezné síly počítáme s jejím jeden a půl násobkem. Pro výpočet zatěžovacího momentu vyvozeného řeznou silou, uvažujeme její působení na obvodu otočné desky tj. rameno je rovno jejímu poloměru, velikost otočné desky byla zvolena 200 mm.

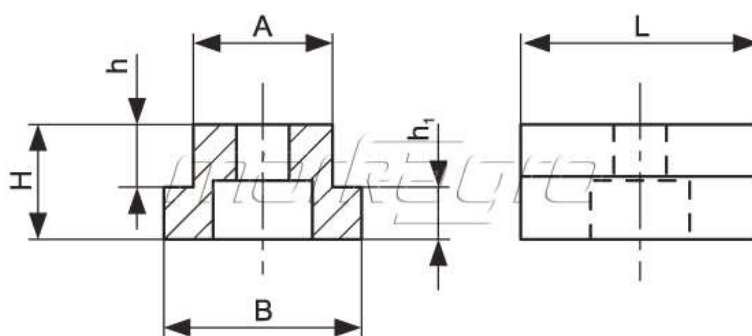
$$M_c = F_c * 1,5 * \frac{D_d}{2} = 200 * 1,5 * 0,1 = 30 \text{ Nm} \quad (6)$$

4. Návrh komponent

4.1. Návrh základny stolu (rámu)

Hlavním zadaným požadavkem na základnu je možnost ustavení otočného stolu ve dvou navzájem kolmých rovinách. Tedy tak aby byla osa otáčení stolu ustavitelná jak ve svislé tak vodorovné poloze. Podstava tedy bude tvaru úhelníku do L. Obě dosedací plochy budou rovině broušeny a kolmé v toleranci 0,01/100 mm. Na obou plochách budou připravené osazení a závity M6 pro montáž středících kamenů. Pro ustavení stolu do podélného směru frézovacího stolu v T-drážkách velikosti T14, které se u zamýšlených frézek použijí.

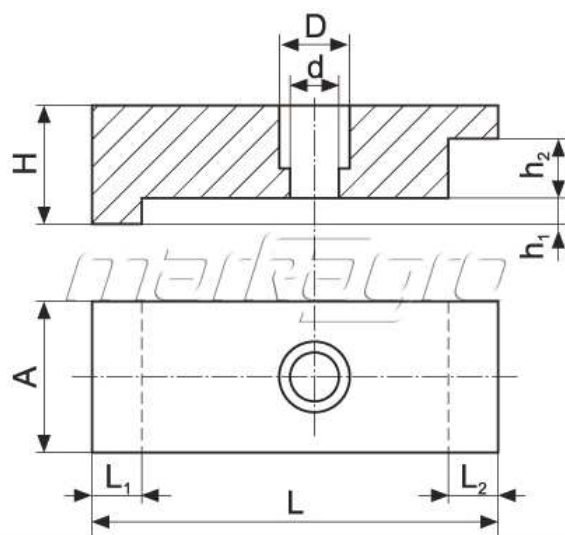
Parametr	Hodnota	Jedn.
A	12	mm
B	14	mm
L	25	mm
H	12	mm
h	6	mm
h ₁	6	mm
Hmotnost	0,07	kg



Obr. 10 Středící kámen 12/14 mm [9]

Upnutí základny k frézovacímu stolu bude řešeno kombinací děr pro šrouby a vybrání pro svěrákové upínky.

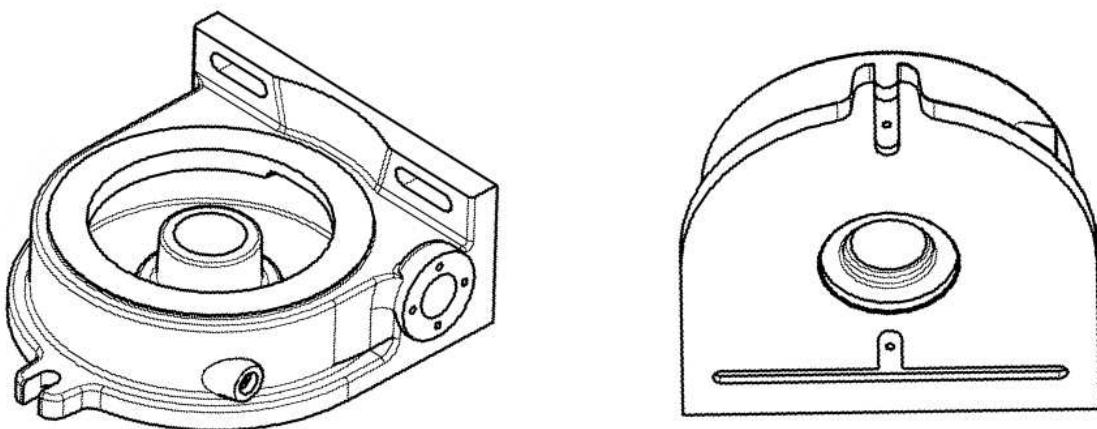
Parametr	Hodnota	Jedn.
Velikost svěráku	200	
H	40	mm
D	Ø19	mm
d	Ø13	mm
A	50	mm
L	60	mm
h ₁	4	mm
h ₂	22	mm
h ₃	14	mm
l ₁	15	mm
l ₂	15	mm
Hmotnost	0,65	kg



Obr. 11 Svěráková upínka FPZ 200 [10]

Díry pro šrouby pro připevnění v poloze osy rotace horizontálně jsou oválné tak aby pokryli normalizované rozteče T- drážek. Pro změnu polohy otočného stolu z horizontální polohy do vertikální polohy je nutné povolit upínací šrouby stůl přestavit do požadované polohy a zvonu upnout pomocí šroubů a upínek. Při postavení stolu na kratší základnu je vhodné pro připevnění použít více upínek. Z důvodu vyložení obrobku bude mít frézovací síla, popřípadě síla při vrtání, tendenci překloupit stůl přes přední hranu. Čelní plocha podstavy je rovnoběžná s dosedací plochou stolu a ve stejné rovině jako otočná deska. Toto lze využít při ustavování stolu, aniž by bylo potřeba číselníkovým úchylkoměrem přejíždět přes členěný povrch otočné desky, popřípadě demontovat upnutý obrobek.

Další tvar a rozměry základny stolu jsou z velké části určeny ostatními součástmi, které jsou v základně uloženy. Velikost základny se odvíjí zejména od rozměru otočné desky. Její průměr byl stanoven na základě zadání. Otočná deska je v základně zajištěna jak radiálně tak axiálně. Horní styková plocha otočné desky a základny je tvaru mezikruží s vnějším průměrem odpovídajícím průměru otočné desky a vnitřní průměr je volen tak aby byla umožněna bezproblémová montáž a údržba částí uložených v dutině základny.



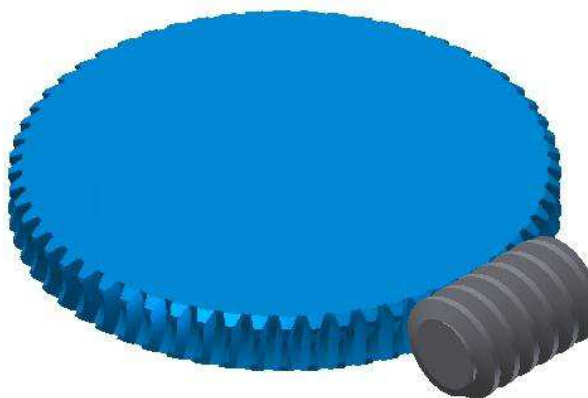
Obr. 12 Ukázka výsledného tvaru základny stolu

4.2. Návrh převodového mechanismu

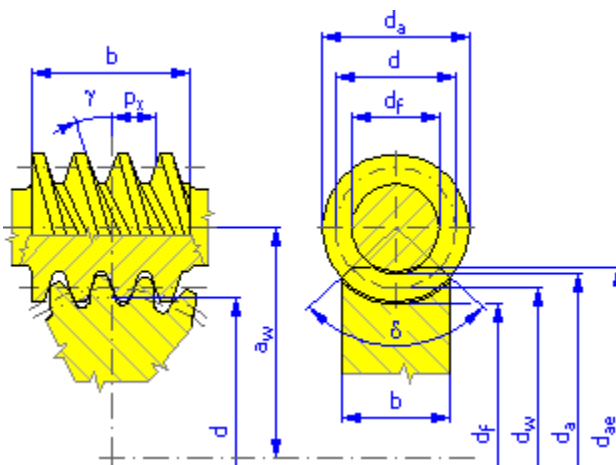
S návrhem převodového mechanismu souvisí určení převodového poměru, který stanovíme na základě několika požadavků, první z nich souvisí s dělením úhlových rozměrů ve stupních proto by měl být převod bezezbytkovým dělitelem 360. To je důležité pro logické dělení stupnice ručního kola, tak aby na jednu otočku ručního kola docházelo k natočení otočné desky o celé stupně. V úvahu tedy připadá převodový poměr 60, 72 a 90. Převodový poměr spolu s velikostí modulu ozubení ovlivňuje osovou vzdálenost. Na

základě osové vzdálenosti, převodového poměru, modulu a počtu zubů šneku je potřeba určit součinitel průměru šneku q . V použité literatuře [11] lze dohledat tabulku Hodnot součinitele průměru šneku dle normy DIN 3976. V tabulce nejsou přímo uvedeny hodnoty pro výše uvedené převodové poměry, proto byly vybrány hodnoty nejbližší těmto převodovým poměrům. Po zjištění Součinitele průměru šneku lze vypočítat základní rozměry soukolí. Na základě vypočtených základních rozměrů ozubení pro výše uvedené převody (60, 72, 90) byl vybrán převodový poměr 60, pro který vychází vhodná roztečná osová vzdálenost 71,2 mm.

Na základě vypočtených základních rozměrů soukolí, byl v programu Autodesk Inventor 2015 pomocí generátoru komponent vytvořen 3D model soukolí. Typ šneku byl zvolen N - obecný. Smysl stoupání šneku je zvolen pravý. Materiál pro výrobu šneku byla zvolena ocel, vzhledem k typu ozubení se počítá se zakalením šneku a broušením. Šnekové kolo bude vyrobeno z hliníkového bronzu CuAl10Fe4Ni. Materiál byl vybrán na základě doporučených materiálů pro výrobu šnekových kol uvedených ve výběru z normy DIN 3996. Po návrhu lze v generátoru komponent provést kontrolní výpočet ozubení, je možnost výběru mezi výpočtem dle normy ANSI nebo ČSN konkrétně je uvedena norma ČSN 01 4686. Pro kontrolu je potřeba zadefinovat zatížení. Hnaná část je v tomto případě šnek. Zatížení je zadáno otáčkami a krouticím momentem, výkon bude dopočítán softwarem. Frekvence otáčení je 60 ot/min. Vstupní krouticí moment byl pokusně stanoven na 1,1 Nm, tak aby se výstupní krouticí moment rovnal 30 Nm.



Obr. 13 Ukázka navrženého šnekového soukolí



Obr. 14 Základní rozměry šneku a šnekového kola

		Šnek	Šnekové kolo
Výkon	P	0,007 kW	0,003 kW
Otáčky	n	60,00 rpm	1,00 rpm
Krouticí moment	T	1,100 N m	30,918 N m
Účinnost	η	0,468 ul	
Radiální síla	F_r	193,407 N	
Obvodová síla	F_t	100,370 N	513,246 N
Axiální síla	F_a	513,246 N	100,370 N
Normální síla	F_n	555,152 N	
Obvodová rychlost	v	0,070 mps	0,006 mps
Kluzná rychlost	v_k	0,071 mps	

Tab. 1 Dopočtené hodnoty zatížení

4.2.1. Kontrola samosvornosti

Samosvornost je důležitým aspektem u otočného stolu. Samosvorností u šnekového převodu rozumíme schopnost zabránit uvedení soukolí do pohybu vlivem zatížení hnaného prvku v tomto případě šnekového kola. V případě samosvorného soukolí tedy není potřeba na hnacím prvku udržovat stálý zadržovací moment. Samosvornost ověřujeme stejným způsobem jako u šroubů protože ozubení šneku je defakto závit. Samosvornost je podmíněna vztahem $\psi \leq \varphi'$ tj. redukovaný úhel tření je větší nebo roven úhlu stoupání. Úhel stoupání ψ neboli úhel sklonu šneku γ byl vypočten při návrhu soukolí. Výpočet redukovaného úhlu tření je proveden dle vzorce:

$$\varphi'_s = \arctg \frac{f_{zs}}{\cos \frac{\alpha_s}{2}} = \arctg \frac{0,12}{\cos \frac{20}{2}} = 6,94^\circ \quad (7)$$

Kde součinitel tření je volen pro mazaný styk oceli s bronzem a úhel profilu šneku je 20° .

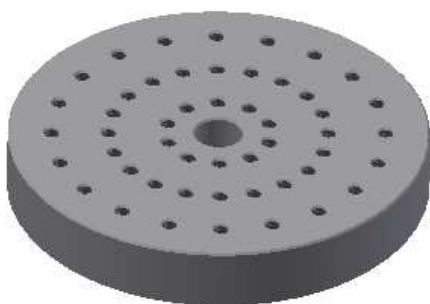
$$\psi_s = 5,1225^\circ \leq \varphi'_s = 6,94^\circ \quad (8)$$

Podmínka samosvornosti je tedy splněna.

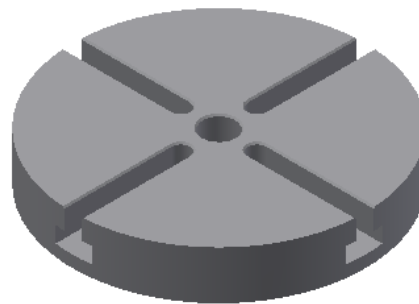
4.3. Návrh otočné desky

Na základě zadaných parametrů byl zvolen průměr pracovní desky 200 mm tj. na horní hranici rozsahu. Hlavním důvodem byl požadavek na upnutí obrobku s rozměry ohraničujícího kvádra 130x130x130 mm. Vzhledem k rozměrům obrobku by u menších průměrů otočné desky vznikl problém s nedostatečným prostorem na upínací příslušenství. S upínacím příslušenstvím je spojena volba způsobu připevnění tohoto příslušenství. Volby byla mezi použitím T-drážek či děr se závity přímo v otočné desce podobně jako u tzv. upínacích palet.

Obě varianty byly posouzeny z hlediska univerzálnosti, životnosti a možnosti vyvození co nejvyšší upínací síly. Univerzálnost obou řešení je vysoká. Běžně používané příslušenství lze použít u obou variant. Nicméně u T-drážek je možnost volně umístit matici kdekoliv do drážky zatím co u možnosti se závity je nutné přizpůsobit se jejich umístění. V rámci životnosti je myšlena odolnost vůči poškození popř. jednoduchost opravy. V případě poškození závitu je u T-matic možná jednoduchá výměna což u závitů přímo v otočné desce nelze a musela by se řešit oprava např. vyvločkováním po vyřezání většího závitu nebo ponechání většího závitu.



Obr. 15 Upínání otvory se závitem



Obr. 16 Upínání T-drážkami

Možnost bezpečně vyvodit vysokou upínací sílu je nutné pro spolehlivé upnutí obrobku. Vysoké síly lze dosáhnout defakto dvěma způsoby. Pomocí menšího počtu větších šroubů nebo větším počtem šroubů menších. První možnost je znakem spíše pro

upínání pomocí T-drážek a druhá možnost s větším počtem menších šroubů je charakterizující pro upínací palety.

Pro navrhovaný otočný stůl byla zvolena varianta s T-drážkami. V případě poškození závitu matice nedojde k poškození samotného stolu. Pozice v T-drážkách může být libovolná, zatímco u druhé varianty jsme vázáni na pevně dané pozici a při návrhu je nutné zvolit vhodné rozmístění otvorů. Další možností je vyrobit podobnou upínací paletu se závity zvlášť a poté ji přichytit k otočné desce pomocí t-drážek, získáme tak výhodu obou variant.

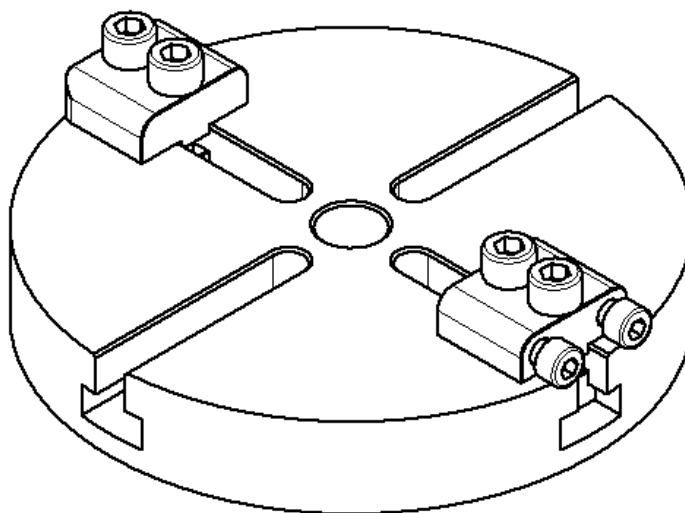
Pro upínání může sloužit také středový otvor, který bude kuželový. Nejčastěji se využívá Morseova kuželu v tomto případě velikosti 3.

Otočná deska ovlivňuje přesnost celého otočného stolu při jeho používání. Upínací plocha musí být rovná a rovnoběžná se základnou stolu v toleranci 0,015 mm po celé ploše. Toho se docílí broušením otočné desky po montáži celého otočného stolu. Otočná deska musí být souosá s osou otáčení v předepsané toleranci 0,02 mm. Na přesnost má vliv také způsob uložení otočné desky. Vzhledem k zástavbovým rozměrům bylo vybráno uložení kluzné. V úvahu by přicházelo použití jehlového radiálního ložiska, to by vyžadovalo zakalení povrchu čepu, což by zvyšovalo složitost výroby. Vzhledem k požadavku na minimální vůli bylo vybráno uložení H6/h5 používané pro přesná točná uložení hřídelů a vodící pouzdra.

V rámci návrhu otočné desky byl zároveň vypracován návrh na způsob upevnění zadaného obrobku. Z důvodu limitovaného prostoru muselo mít řešení co nemenší rozměry. Upínky byly navrženy tak, aby zabránili vysmeknutí obrobku při jeden a půl násobku vypočtené řezné síly tj. 300N. Obrobek je držen pouze třením vyvozeným dvojicí šroubů M8. Potřebná síla vyvozená šrouby se rovná síle normální, kterou vypočteme:

$$F_{un} = \frac{F_c}{f_{oc}} = \frac{300}{0,15} = 2000 \text{ N} \quad (9)$$

Osová síla na jeden šroub je tedy poloviční. Potřebný utahovací moment pro vyvození této síly je 1,6 Nm. Pro připevnění upínek ke stolu je použita dvojice šroubu M10 s nenormalizovanou delší T maticí (pro lepší rozložení upínací síly) s dvěma závity. Je možné kombinovat upínku pevnou či upínku se šrouby. Upínka je navržena tak aby jeden pár byl schopen udržet obrobek, je ale možné použít druhý pár v kolmém směru.

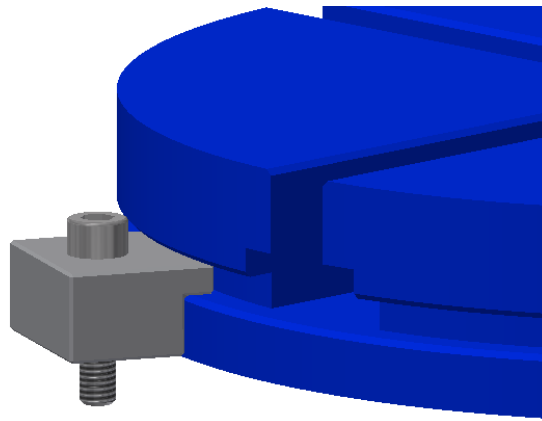


Obr. 17 Návrh způsobu upnutí

4.4. Návrh aretačního mechanismu

Jak již bylo zmíněno, aretace se používá v případě obráběcích operací, při kterých není nutné otáčet s obrobkem. Z toho vyplývá, že aretační mechanismus musí být schopen spolehlivě zachytit moment vyvolaný řeznou silou. Pro návrh aretačního mechanismu uvažujeme velikost krouticího momentu 30 Nm. Pro realizaci aretačního mechanismu přichází v úvahu několik variant. Výsledný způsob řešení bude vybrán z variant dvou.

První variantou je přitažení otočné desky k základně pomocí upínek. Tímto způsobem je aretace řešena u většiny vyráběných otočných stolů menších rozměrů z důvodu jeho jednoduchosti a levné výroby. V otočné desce je vytvořena drážka, do které zapadají upínky se zobáčkem, které otočnou desku přitahují k základně. Pro jednoduchost obsluhy bývají tyto šrouby zakončeny pákou.



Obr. 18 Způsob aretace přitažením k základně

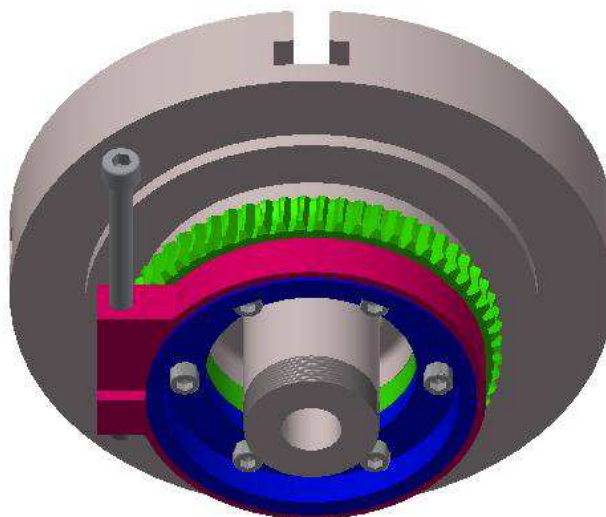
Při výpočtu uvažujeme střední třecí průměr 198 mm. Předpokládáme dva aretační šrouby. Bezpečnost proti prokluzu volíme 2. Součinitel tření mazaného styku litiny s ocelí je 0,2. Potřebnou sílu ve šroubu tedy vypočteme:

$$F_{as1} = k * \frac{1}{f_z} * \frac{M_c}{2 * \frac{d_{stt}}{2}} = 2 * \frac{1}{0,2} * \frac{30}{2 * \frac{0,198}{2}} = 1515 \text{ N} \quad (10)$$

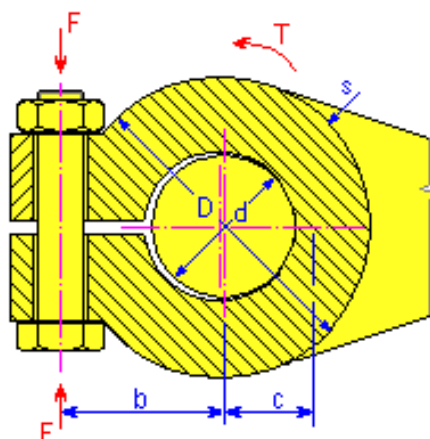
Potřebný utahovací moment na vyvození předpětí pro šroub M6

$$M_{ua1} = K_{a1} * F_{as1} * d_{a1} = 0,2 * 1515 * 0,006 = 1,8 \text{ Nm} \quad (11)$$

Druhou zpracovanou variantou je aretace pomocí svěrného spoje, realizovaná jednostranně proříznutým nábojem. Součástí sestavy otočné desky je buben, který se otáčí ve svěrné objímce. Objímka je svírána jedním šroubem M8 zakončeným válcovou hlavou s vnitřním šestihranem, ke které je přístup z boku stolu. Rozměry jsou voleny tak aby se aretační mechanismus vešel do již existující dutiny stolu bez zvyšování celkových rozměrů stolu a také aby nedocházelo ke kolizi s ostatními komponenty. Na základě výsledných rozměrů byla provedena kontrola v programu Autodesk Inventor 2015. Charakter zatížení předpokládáme míjivý, součinitel bezpečnosti proti skluzu volíme 3. Uložení bubnu a objímky v klidovém stavu je s vůlí pro umožnění snadné montáže.



Obr. 19 Řešení aretace rozříznutým nábojem



Obr. 20 Schéma spoje s rozříznutým nábojem

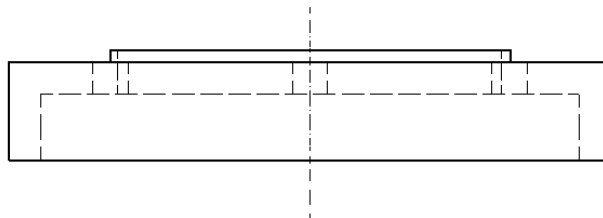
Zatěžující moment	Průměr bubnu	Tloušťka objímky	Součinitel bezpečnosti proti skluzu	Minimální délka náboje	Potřebná osová síla ve šroubu	Navržená velikost šroubu
M_c	d_b	s_o	k_s	l_{Min}	F_{as2}	d^{a2}
30 Nm	110 mm	3 mm	3	0,94 mm	3080 N	8 mm

Tab. 2 Parametry spoje s proříznutým nábojem

Výpočet potřebného utahovacího momentu pro vyvození předpětí

$$M_{ua2} = K_{a2} * F_{as2} * d_{a2} = 0,3 * 3080 * 0,008 = 7,4 \text{ Nm} \quad (12)$$

Aretační buben je spolu se šnekovým kolem připevněn k otočné desce pomocí šesti šroubů M6. Bezpečnost proti prokluzu je zvolena 3, potřebná osová síla ve šroubu 714 N, výsledná bezpečnost šroubu je 2,8, potřebný utahovací moment šroubu je 3,4 Nm. Osové vymezení bubnu je řešeno osazením stejně jako vymezení šnekového kola.

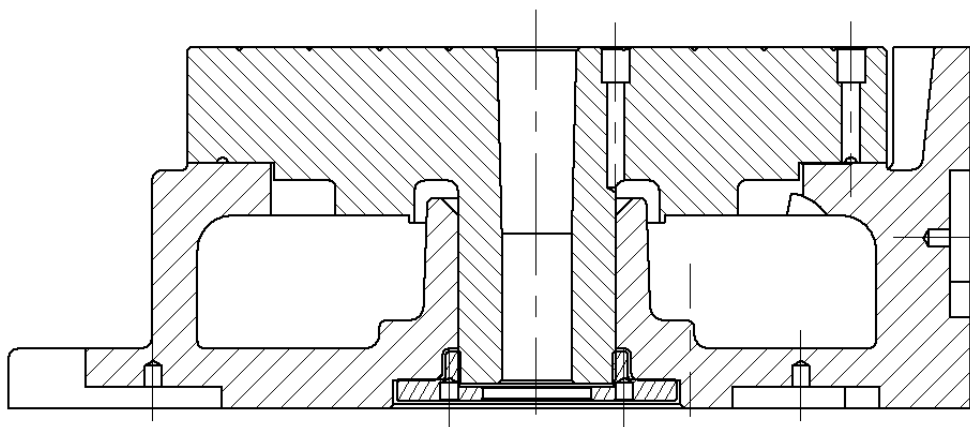


Obr. 21 Osazení na aretačním bubnu

Jako výsledná varianta zapracovaná do návrhu byla vybrána aretace pomocí svěrného spoje. Tato varianta byla, zvolena jako vhodnější řešení protože je kompletně ukryta uvnitř stolu, nedochází tedy ke znečištění kontaktních aretačních ploch třískami a dalšími nečistotami, také je tím chráněna proti mechanickému poškození, na které je náchylná druhá varianta. V prostoru okolo otočné desky nejsou žádné výčnělky, u kterých může docházet k usazování nečistot a je tak usnadněna údržba po použití stolu. Aretace se provádí utažením šroubu ze strany ovládání, je tedy snadno přístupná a je možno říci i bezpečnější jelikož není potřeba, aby obsluha zasahovala do pracovního prostoru obráběcího stroje, a zároveň u otočné desky netrčí žádné kliky, za které je možné zachytit oděvem. Z těchto důvodů byla vybrána druhá varianta i přes větší složitost řešení.

4.5. Návrh uložení otočné desky a šnekové hřídele

Uložení otočné desky je realizováno kluznými ložisky, která jsou tvořena přesně obrobenými otvory a plochami v litinovém rámu stolu.



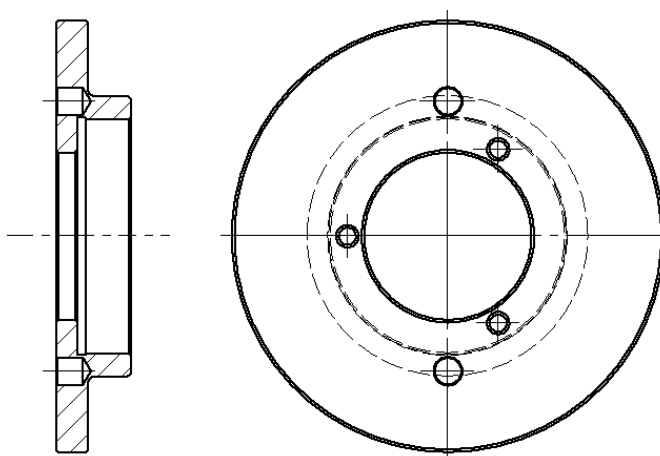
Obr. 22 Řez otočným stolem

V radiálním směru je otočná deska zachycena ve válcovém otvoru rámu. Průměr otvoru je 45 mm uložení s vůlí s označením H6/h5 pro přesná točná uložení. K návrhu ložisek a kluzných uložení patří i návrh mazání těchto ložisek. Radiální ložisko bude mazáno olejem, který je k němu dodáván kanálkem zakrytým olejovou maznicí s kuličkou, která je přístupná horní strany otočné desky. Malé množství oleje se přidává do určených mazacích bodů před každým použitím stolu.

V axiálním směru, otočná deska klouže po axiálním ložisku, které je tvaru mezikruží z vnější strany ohraničené průměrem otočné desky a z vnitřní strany otvorem v rámu stolu. Dosedací plocha rámu je rovná, a v dosedací ploše otočné desky jsou excentricky umístěné drážky, ve kterých je zadržováno mazivo, které udržuje stálý mazací film. K mazacím drážkám je opět mazivo přivedeno kanálkem s maznicí.

Axiální vůle se nastavuje utažením matice ze spodní strany stolu, která se po nastavení zaaretuje třemi stavěcími šrouby. Plocha matice je také kluzným povrchem, a je mazána olejem, který projde radiálním ložiskem.

Součástí mazání horní axiální plochy je drážka hluboká 0,3 mm, která přivádí mazivo od otočné desky do záběru šneku.



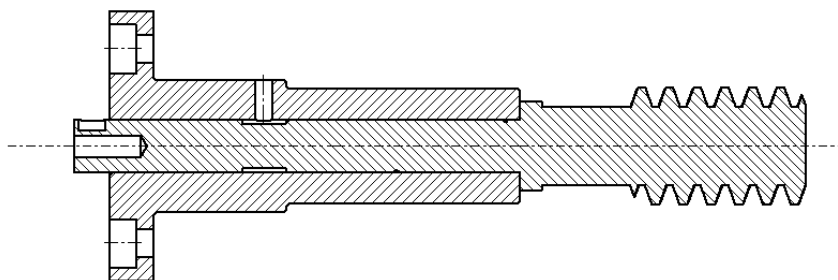
Obr. 23 Matice otočné desky

Uložení šnekové hřídele je také s vůlí a označením H6/h5. Šnek s hřídelí je vyroben z jednoho kusu oceli a je uložen v kluzném pouzdře z litiny. Pouzdro je zasunuto do otvoru v rámu a je k němu připevněno přes přírubu čtveřicí šroubů M6. Styková třecí plocha je tvaru mezikruží a tvoří rotující čep, proto byla provedena kontrola měrného středního tlaku p_s . Axiální síla působící na šnek vypočtená softwarem je 513 N, Průměr hřídele šneku je 12 mm a vnější průměr čepu je 24 mm. Střední tlak vypočteme:

$$p_s = \frac{F_a}{\frac{\pi}{4} * (d_2^2 - d_1^2)} = \frac{515}{\frac{\pi}{4} (24^2 - 12^2)} = 1,51 \text{ MPa} \quad (12)$$

Dovolený střední tlak pro otáčející čep z nekalené oceli na litině je 3 MPa. Čep tedy vyhovuje.

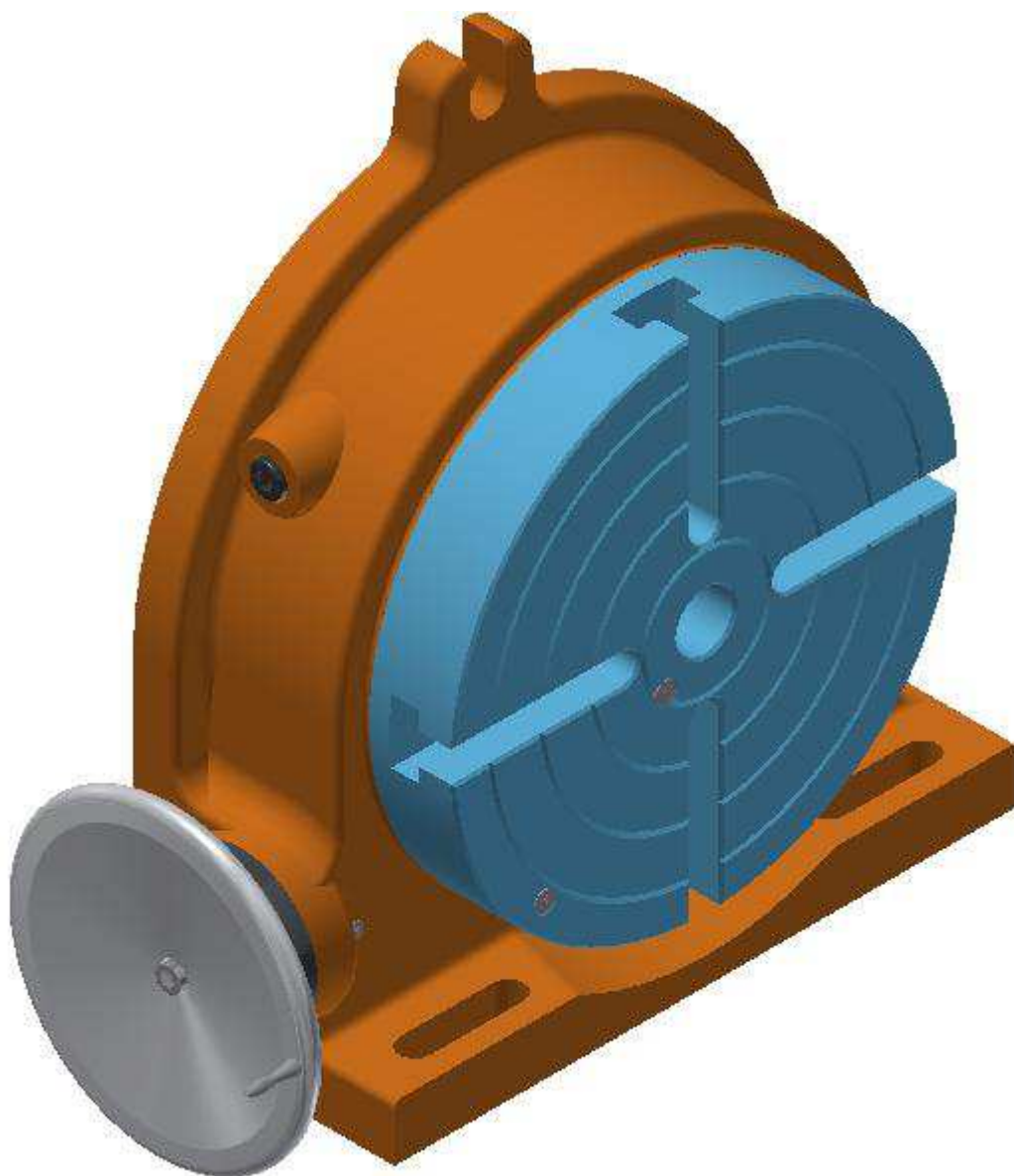
Mazivo je opět přiváděno kanálkem s olejovou maznicí. Mazivo se shromažďuje v prostoru vybrání ve šnekové hřídeli. Odtud je, spirálovou drážkou dostáváno směrem ke šneku.



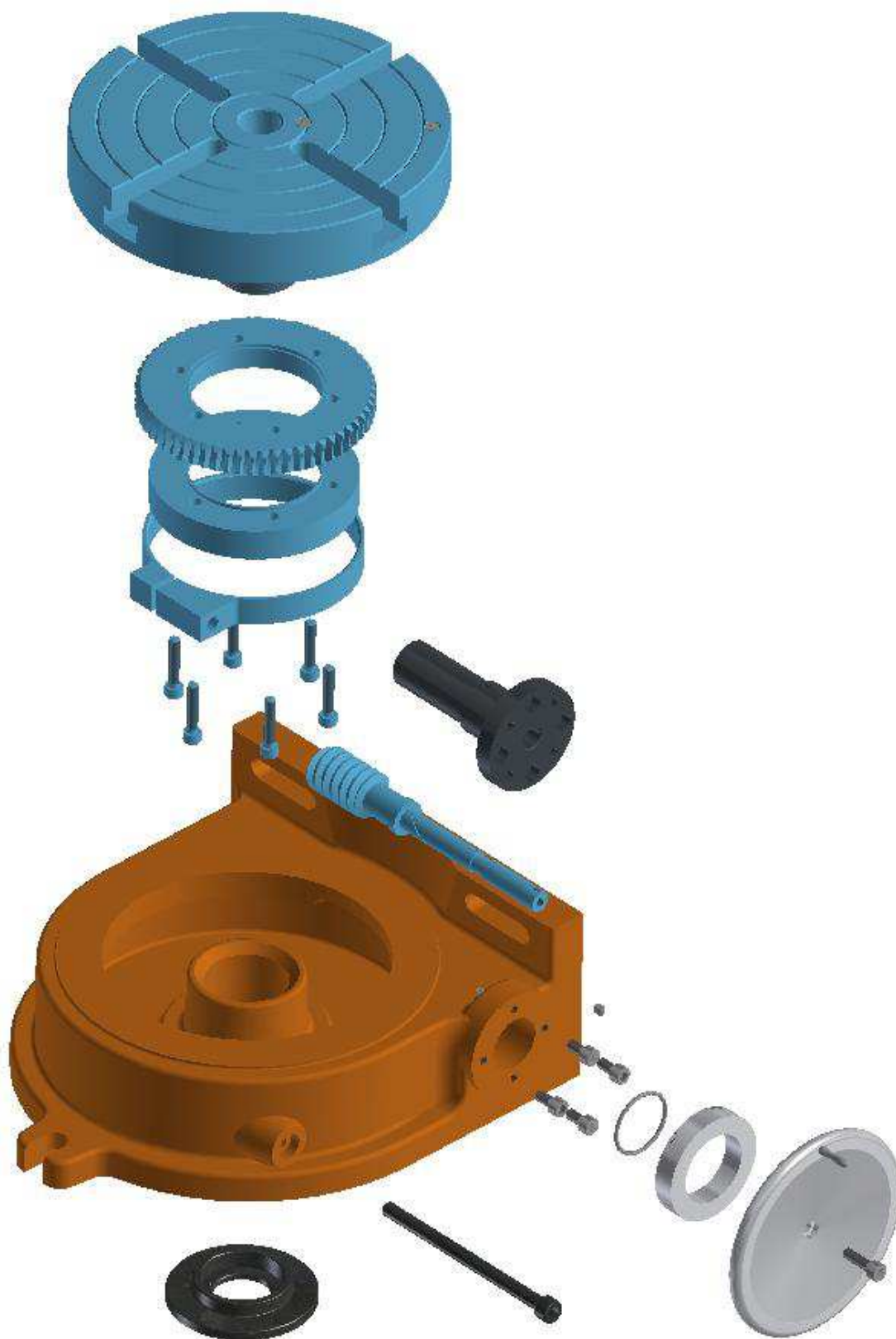
Obr. 24 Uložení šnekové hřídele v litinovém pouzdře



Obr. 25 Šneková hřídel se spirálovou drážkou



Obr. 26 Ukázka sestaveného otočného stolu



Obr. 27 Ukázka rozkladu sestavy se všemi komponenty

5. Použití krokového motoru pro pohon stolu

V případě použití elektrického motoru pro pohon a řízení otočného stolu, lze rozšířit jeho uplatnění. V případě prostého pohonu bez pokročilejšího řízení lze stůl využívat jako rotační manipulátor např. pro svařování. Pokud však spolu s pohonem zajistíme způsob sledování tohoto pohybu, můžeme otočný stůl využít jako externě připojitelnou rotační osu pro jednodušší tříosé CNC stroje.

Pro tuto aplikaci se hodí zejména motory krokové. Krokové motory jsou, motory synchronní tj. rotor se otáčí stejně rychle jako točivé magnetické pole statoru. Rotor je osazen permanentními magnety a stator je. Krokové motory jsou řízeny pomocí impulsů, při přivedení impulsu se motor natočí o úhel odpovídající jednomu kroku. Výrobce u motorů uvádí velikost kroku jako úhel natočení odpovídající jednomu impulsu nebo jako počet impulsů na vykonání jedné celé otáčky. Pro vybraný dvoufázový motor značky Raveo velikosti NEMA 34 je velikost kroku $1,8^\circ/\text{imp}$ respektive 200 imp/ot. Tato velikost kroku je v současné době nejběžnější.

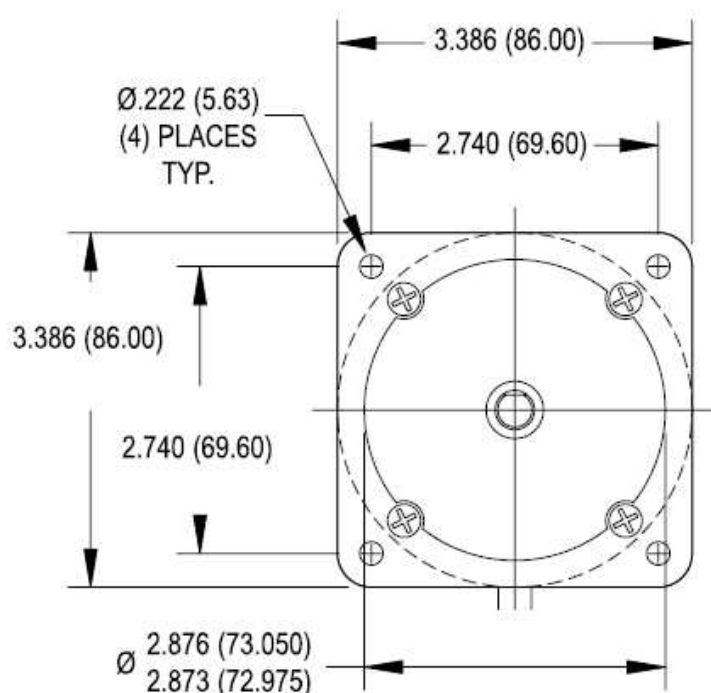
Pokud u motoru nedojde k protočení, můžeme na základě známé výchozí polohy motor přesně řídit i bez zpětné vazby. V případě, kdy je nutné kontrolovat pozici zpětnou vazbou, ať už kvůli přesnosti nebo nutnosti nezávislé kontroly (např. pro jistotu že nedošlo k protočení) používáme snímače natočení nejčastěji optické enkodéry. K protočení motoru může dojít vlivem přetížení a to v případě je-li zatěžující moment poháněného zařízení vyšší než statický moment motoru. Pokud nedojde k překonání statického momentu motoru, můžeme usuzovat, že natočení motoru je závislé pouze na počtu a smyslu přivedených impulsů. Stanovená přesnost úhlu kroku výrobcem je 5%. Při použití u navrhovaného otočného stolu nemůže dojít k protočení, protože navržený šnekový převod, který má motor pohánět je samosvorný.

Při natočení krokového motoru o jeden impuls tj. $1,8^\circ$ získáme natočení na otočné desce $0,03^\circ$ tj. $1'48''$. Toto rozlišení je naprosto dostačující, vzhledem k operacím, pro které se otočné stoly používají.

Při ovládání krokového motoru rozlišujeme dva základní druhy buzení. První, při kterém jsou fáze buzeny jednotlivě, tj. v libovolný okamžik je nabuzená právě jedna fáze. Tento způsob řízení je nejúspornější. Druhou možností je buzení obou fází současně, tímto můžeme dosáhnout až o 40% vyšší krouticí moment a zvýšení rychlosti. Nevýhodou tohoto řízení jsou nároky na napájecí zdroj, který musí dodávat dvakrát větší výkon. Dále můžeme kombinovat obě předešlé. Tím dosáhneme polovičního kroku. Při polovičním

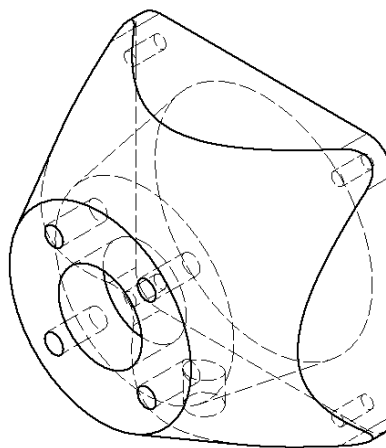
kroku je chod motoru plynulejší ale zároveň se snižuje krouticí moment přibližně o 15%. Dále je možné řídit krokové motory tzv. mikrokrokováním, kdy jsou mezi sebou fáze posunuty o 90°. Mikrokrokováním lze základní velikost kroku rozdělit až 256 krát což způsobuje velmi plynulý pohyb.

Krokové motory se vyrábějí v několika rozměrech v závislosti na velikosti přídržného krouticího momentu, který jsou schopné vyvinout. Pro použití s otočným stolem byl vybrán motor RAVEO HN200 3426 0140 AX08 s přídržným momentem 2,3 Nm při unipolárním a 2,8 Nm při bipolárním zapojení. Motor je z velikostní řady NEMÁ 34, toto označení se vztahuje k velikosti přední desky motoru, která je velká přibližně 3,4 palce.



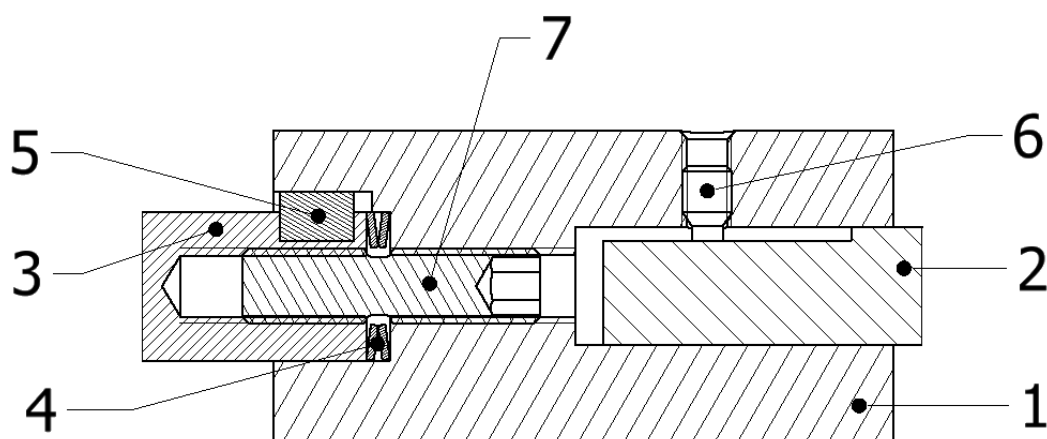
Obr. 28 Rozměry specifikované velikostní řadou NEMA 34

Motor bude připevněn k otočnému stolu pomocí příruby vyrobené z hliníkové slitiny.



Obr. 29 Ukázka příruby pro motor

Vybraný krokový motor je vybaven hřídelí ve tvaru D (2) s ploškou pro stavěcí šroub (6). Přenos krouticího momentu je zajištěn tuhou spojkou (1). Přenos mezi šnekovou hřídelí (3) a spojkou je zajištěn těsným perem (5). Mezi čelem šnekové hřídele a spojkou jsou talířové pružiny (4), které slouží pro vymezení vůlí při montáži. Pružiny jsou zařazeny sériově tak aby byl zvýšen jejich zdvih. O předepnutí pružin se stará šroub M6 (7) které má na straně šnekové hřídele pravý závit a na straně tuhé spojky levý závit. Utahování tohoto šroubu se provádí před namontováním motoru. Šroub byl pevnostně zkontrolován v místě zápichu mezi levým a pravým závitem.

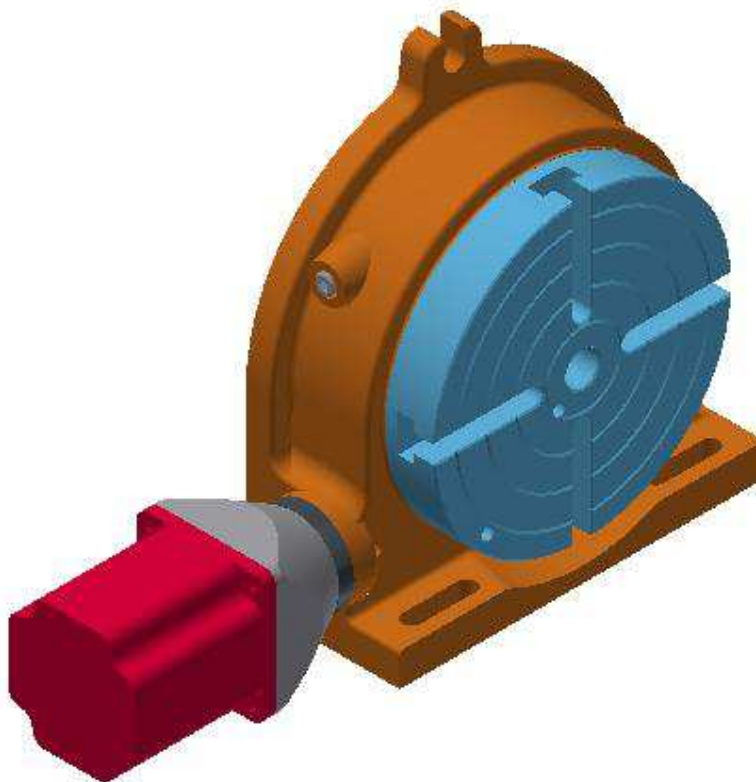


Obr. 30 Detail spojky krokového motoru

- | | | |
|----------------------------|---------------------|------------------|
| 1. Tuhá spojka | 3. Šneková hřídel | 6. Stavěcí šroub |
| 2. Hřídel krokového motoru | 4. Talířové pružiny | 7. Šroub M6 L+P |
| | 5. Těsné pero | |

D_e [mm]	D_i [mm]	t [mm]	l_0 [mm]	S_1 [mm]	F_1 [N]	S_2 [mm]	F_2 [N]	S_3 [mm]	F_3 [N]	F_c [N]	M [g]	Číslo zboží
12,0	6,2	0,60	0,95	0,09	214	0,18	394	0,26	552	699	0,39	0127

Tab. 3 Parametry talířové pružiny [12]



Obr. 31 Ukázka hotového otočného stolu s namontovaným krokovým motorem

6. Závěr

Cílem práce bylo navrhnout otočný stůl pro použití na vertikální frézce. Byl zadán požadavek na možnost upnutí otočného stolu ve dvou navzájem kolmých rovinách. A podmínka na upnutí ocelového obrobku s rozměry ohraničujícího kvádra velikosti 130x130x130 mm a rozsah průměru pracovní desky od 100 do 200 mm.

Při základním rozvržení byl zvolen průměr otočné desky na horní hranici zadaného rozsahu za cílem získat co možná nejvíce místa pro řešení způsobu upnutí.

Po stanovení rámcových velikostí sil působících při frézovacích operacích pomocí principu nepřímé metody měření byly vybrány parametry obrábění dle reálných podmínek a zároveň tak aby navržené zařízení bylo dostatečně na straně bezpečnosti při běžných obráběcích operacích. Z konkrétní stanovené síly byl stanoven moment zatěžující pohybový mechanismus a na tento moment byly všechny komponenty jak navrženy tak zkontrolovány.

Vzhledem k faktu že pro ruční stanovení parametrů převodu nebyly k dispozici kompletní zahraniční normy zabývající se návrhem šnekového převodu s potřebnými tabulkami koeficientů, ale pouze omezené výběry. Byla zvolena možnost navrhnout šnekový převod v CAD softwaru konkrétně Autodesk Inventor 2015. Následně byla v tomto programu provedena i kontrola soukolí na únosnost a životnost, která proběhla kladně.

S navrženými komponenty převodovky bylo možné pokračovat v návrhu ostatních součástí stolu, jejichž rozměry byly na parametrech soukolí závislé. Velkou část návrhu ostatních dílů zabíralo přizpůsobení se prostorovým podmínkám, které byly určeny již navrženými díly. Například nebylo možné zrealizovat původní myšlenku s uložením otočné desky v páru kuželíkových ložisek z důvodu nároku na vnitřní prostor ve stole. V případě použití těchto valivých ložisek by bylo nutné ostatní části předělat což by ale mělo za následek neúměrný nárůst vnějších rozměrů navrhovaného stolu.

Po úspěšném dokončení návrhu všech komponent byla k těmto vypracována výkresová dokumentace.

7. Literatura:

- [1]. Otočný stůl IMF 320 [online] [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: <https://katalog.mav.cz/detail.php?id=19541&lang=0>
- [2]. Otočný stůl SOPP 200 [online] [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: <https://www.naradiprofesional.cz/stul-otocny-horizontalni-vertikalni-sopp-200-mm>
- [3]. Otočný stůl HV8 [online] [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: <http://www.eshop-alfatech.cz/otocny-stul-hv-8>
- [4]. Otočný stůl VU8 [online] [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: http://www.rotagriponline.com/index.php?page=shop.product_details&product_id=9344
- [5]. Rotary table stoper drive [online] [cit. 2018-03-9]. Dostupné z: <https://journeymans-workshop.uk/rotab.php>
- [6]. KISTER 9265B [online] [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/de/document/view/13881341/data-sheet-type-9265b-9441b-9443b-helmar>
- [7]. KISTER 9255B [online] [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://en.etsmtl.ca/Unites-de-recherche/LIPPS/Recherche-et-innovation/Equipements>
- [8]. ČEP, Robert a Jana PETRŮ. Experimentální metody v obrábění: učební text [CD-ROM]. Ostrava: VŠB-TUO, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2011. ISBN 978-80-248-2533-5.
- [9]. Středící kameny 12/14 mm [online] [cit. 2018-05-8]. Dostupné z: <https://eshop.markagro.cz/prislusenstvi-ke-sverakum/949-stredici-kameny-do-sveraku-2ks-1214mm.html>
- [10]. Svěrákové upínky FPZ200 [online] [cit. 2018-05-8]. Dostupné z: <https://eshop.markagro.cz/prislusenstvi-ke-sverakum/937-upinka-pro-sveraku-fpz200-2-ks.html>
- [11]. SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [12]. Katalog talířových pružin Hennlich [online] [cit. 2018-05-3]. Dostupné z: https://www.hennlich.cz/fileadmin/_migrated/cz_Talířové_pružiny_-_tabulky_DIN_2093.pdf

8. Seznam příloh

BUC0050-BP-00_Sestava

BUC0050-BP-01_Rám

BUC0050-BP-02_Otočná deska

BUC0050-BP-03_Šnekové kolo

BUC0050-BP-04_Šneková hřídel

BUC0050-BP-05_Pouzdro šneku

BUC0050-BP-06_Matice stolu

BUC0050-BP-07_Objímka

BUC0050-BP-08_Buben aretace

BUC0050-BP-09_Šroub M8x120